

# LÍNEA EXPERIMENTAL DE MANIPULACIÓN DE FRUTA CON EL OBJETIVO DE MEJORAR ELEMENTOS MECÁNICOS PARA REDUCIR DAÑOS

J. Ortiz, J. García, M. Ruiz-Altisent  
Dept. Ingeniería Rural,  
Universidad Politécnica de Madrid  
Madrid, España.

## Abstract

Testing equipment for the improvement of mechanical devices to minimize damage to fruit in commercial packing lines

An experimental fruit packing line has been designed and located in the Agricultural Engineering Department of the Polytechnic University of Madrid with the aim of improving mechanical devices and fruit handling conditions to minimize damage to fruit. The experimental line consists of several transporting belts, one rollers transporter, one sizer, one elevator, one singularizer, and three trays to receive the calibrated fruit. The line has a length of 6.15 m and a width of 1.9 m. Movement of the different components is regulated by electric motors with variable velocity electronically controlled. The height of the transfer points is variable and can be easily modified. The experimental line has been calibrated using two instrumented spheres IS 100 (8.8 cm  $\varnothing$  and 6.2 cm  $\varnothing$ ). Acceleration values obtained in all the transfers of the experimental line lay under 80 g's.

Keywords: Fruit handling, Instrumented sphere, Impact damage, Transfer points, Fruit quality

## Resumen

Ha sido diseñada e instalada en el Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad Politécnica de Madrid una línea experimental de manipulación de fruta con el objetivo de mejorar elementos mecánicos y condiciones de manipulación para reducir daños a la fruta. La línea experimental consta de varias cintas transportadoras, un transportador de rodillos, un calibrador de diábolos, un elevador, un alineador y tres bandejas de salida para la fruta calibrada. La línea tiene una longitud de 6.15 m y una anchura de 1.9 m. Los diferentes elementos de la línea están accionados por motores eléctricos con velocidad variable controlada electrónicamente. La altura de los puntos de transferencia es variable y puede ser modificada con facilidad. La línea experimental ha sido calibrada utilizando dos frutos electrónicos IS 100 (8.8 cm  $\varnothing$  y 6.2 cm  $\varnothing$ ). Los impactos registrados por los frutos electrónicos permanecen por debajo de 80 g's en todos los puntos de transferencia.

Palabras clave: Manipulación de fruta, Fruto electrónico, Daños por impacto, Punto de transferencia, Calidad de fruta

## 1. Introducción

Los daños ocasionados a la fruta durante los diferentes procesos de manipulación, desde su recogida en campo hasta su llegada al consumidor, producen una reducción de su calidad y, por tanto, una pérdida de su valor comercial.

En este sentido, el proceso de manipulación de la fruta en líneas de envasado comerciales no es una excepción. La fruta, durante su manipulación en la línea, recibe impactos que producen daños y pérdida de calidad (Brown et al., 1987). Para detectar las zonas de las líneas de manipulación donde la fruta recibe impactos y la magnitud de los mismos se utilizan frutos electrónicos (Zapp et al., 1989). Es fundamental, no sólo identificar las zonas de la línea donde la fruta se golpea, sino también el tipo de impacto que recibe (Zapp et al. 1990). Los datos aportados por los frutos electrónicos deben ser relacionados con la susceptibilidad a daños del tipo de fruta tratada en la línea (García et al., 1994b, Schulte et al., 1992; Pang et al., 1991) para predecir su probabilidad de daño.

Se llega a la conclusión de que valores por encima de 50 g's (Barreiro, 1994) son causa de magulladuras mayores de 0.5 cm<sup>2</sup> y 1 cm<sup>2</sup> (Norma Comunitaria Clase I) en fruta de hueso y de pepita respectivamente. Este umbral es genérico y aproximado, debiendo ser establecido en ensayos específicos para especies y variedades determinadas.

Se han realizado diferentes estudios con el objetivo de identificar los elementos de las líneas de manipulación que mayor daño infringen a la fruta (García F. et al, 1996, Miller et al., 1991). El estudio de diferentes elementos y condiciones de trabajo que reduzcan el daño a la fruta en líneas de manipulación requiere la realización de pruebas y modificaciones durante un largo período de tiempo y en diferentes condiciones de trabajo, por lo que es muy difícil de llevar a cabo en líneas comerciales. Con tal objetivo se ha diseñado y construido una línea experimental de manipulación de fruta dentro del marco del proyecto CICYT "Desarrollo de dispositivos mecánicos para minimizar daños y medir la firmeza en líneas de manipulación de frutas" en colaboración con la empresa MAXFRUT, S.L que actúa como EPO en dicho proyecto. Los impactos sufridos por los frutos en dicha línea han sido determinados mediante el uso de frutos electrónicos con el objeto de establecer las propiedades y parámetros de funcionamiento que causan situaciones que se pueden corregir y mejorar en las líneas de manipulación comerciales.

No se descarta el diseño de dispositivos electrónicos de control, calibración y clasificación para la mejora de las líneas.

## 2. Material y métodos

La línea experimental de manipulación de fruta (Fig. 2) ha sido diseñada de forma que se puedan variar fácilmente las condiciones de trabajo (velocidades, alturas de caída entre transferencias, recorrido a seguir por la fruta, materiales amortiguadores, elementos de transferencia y deceleradores, introducción de nuevos elementos, etc.) en función del tipo de estudio a realizar y ha sido calibrada mediante el uso de frutos electrónicos IS (Instrumented sphere: esfera electrónica).

La línea experimental tiene una longitud de 6.15 m y una anchura de 1.9 m. Está compuesta por una repisa para cajas de fruta, cinco cintas transportadoras de 30 cm de anchura, un transportador de rodillos, un alineador, un elevador, un calibrador de diábolos con tres salidas y tres bandejas de recogida de fruta. Cada elemento de la línea es accionado independientemente mediante motores eléctricos (de potencias comprendidas entre 0.25 y 0.5 CV) con velocidad variable controlada electrónicamente por convertidores de frecuencia

OMRON 3G3EV desde un cuadro de control eléctrico situado en un lateral de la línea. Las transferencias entre elementos son regulables en altura de forma manual, los distintos componentes de la línea disponen de patas telescópicas. Los elementos se encuentran dispuestos formando un circuito, de forma que, mediante tres cintas reversibles correspondientes a las tres salidas del calibrador, la fruta puede ser recirculada o enviada a las bandejas de salida. Este diseño permite disponer de diferentes condiciones de trabajo, y un número de transferencias y características de las mismas similar al existente en las líneas de manipulación comerciales. La línea tiene un total de ocho puntos de transferencia entre elementos (Fig. 2). En las transferencias T1 y T2 existe la posibilidad de instalar una cortina deceleradora, un cepillo de transferencia u otro elemento. La velocidad de los elementos de la línea ha sido calibrada mediante un tacómetro digital ONO SOKKI HT-5200.

Para la realización de los diferentes estudios han sido utilizados dos frutos electrónicos comerciales IS 100 (Zapp. et al., 1990). Los frutos empleados tienen dos tamaños: el primero 300.6 g de peso y 8.8 cm de diámetro (IS 100 G), el segundo 114.7 g de peso y 6.2 cm de diámetro (IS 100 P). Cada fruto electrónico dispone de un acelerómetro triaxial, un reloj, una batería y una memoria. Para cada impacto los frutos electrónicos registran dos parámetros: aceleración producida expresada como número de veces la aceleración de la gravedad (g's), donde 1 g = 9.8 m/s<sup>2</sup>, y duración del impacto (ms).

El fruto electrónico proporciona, gracias a un programa de ordenador, información de los impactos en tiempo real, por lo que es posible identificar en qué punto de la línea se ha producido cada impacto. Además de la aceleración máxima en cada punto (siempre por encima de un umbral establecido, en nuestro caso 30 g's) el programa calcula el cambio de velocidad (Fig.1), que representa el área subtendida por la curva de aceleración en relación al tiempo de duración del impacto:

$$\Delta v = \int_{t_1}^{t_2} a \cdot dt \quad (\text{m/s})$$

Estos dos parámetros (aceleración máxima y cambio de velocidad) nos definen el nivel de daño que cabe que se produzca en una fruta al recibir un impacto. La aceleración nos indica la fuerza del impacto, mientras que el cambio de velocidad representa si la superficie en la que se produce el impacto es dura (cambio de velocidad pequeño al serlo el tiempo de impacto) o amortiguada (cambio de velocidad grande). En las líneas de manipulación reales los valores de aceleración y cambio de velocidad suelen oscilar entre 20 y 250 g's y entre 0.1 y 3.5 m/s respectivamente.

La línea experimental fue ensayada en unas condiciones determinadas de altura de los puntos de transferencia y velocidad de los elementos (Tabla 1) que se podrían definir entre medias y severas. En la transferencia T1 fue colocada una cortina deceleradora y en la transferencia T2 un cepillo de transferencia. En el transportador de rodillos 2 (Figura 2) se utilizó un juego de rodillos acolchados.

Los resultados obtenidos por ambos frutos electrónicos fueron similares, por ello, en este trabajo sólo se detallan los datos registrados por el fruto electrónico IS 100 G (300.6 g de peso y Ø 8.8 cm).

### 3. Resultados

#### 3.1. Gráficos de resultados

Los resultados obtenidos con el fruto electrónico IS 100 G son sintetizados en tres gráficos tipo (Fig.3):

- Nivel de impacto: representa la magnitud de la aceleración los impactos registrados por el fruto electrónico (g's) en cada punto de la línea experimental (Fig. 3.1).
- Probabilidad de impacto: se detalla la probabilidad de que un fruto sufra al menos un impacto de una determinada magnitud: superior a 50 g's, 100 g's ó 150 g's (Fig. 3.2).
- Distribución de impactos (Fig. 3.3 y 3.4): Indica la naturaleza del material sobre el que impactan los frutos en cada transferencia. Para ello se representan los puntos de cambio de velocidad (m/s) en relación a la aceleración máxima (g's) registrados por el fruto electrónico tomando como referencia tres curvas de distribución de impactos para tres materiales tipo: acero, Poron (P20125) de 3.2 mm y Poron (P15250) de 6.4 mm de espesor.

#### 3.2. Análisis de resultados

El valor medio de los impactos registrados por el IS 100 G se mantuvo por debajo de 80 g's en todos los puntos de transferencia de la línea (Fig. 3.1) aunque con gran variabilidad en algunas (T2, T4 y T7). El punto de transferencia (p.d.t.) donde se registraron mayores niveles de impacto así como mayor variabilidad en el valor de los mismos fue el T2 (transportador de rodillos - alineador), con un nivel medio de impacto de 76.2 g's. Por el contrario, en el punto de transferencia T6 (cinta transportadora - elevador) se registraron los menores niveles de impacto, siempre por debajo de 30 g's. En los puntos de transferencia T2, T4, T5 y T7 el fruto electrónico registró impactos de mayor intensidad. La probabilidad de que los impactos estuvieran por encima de 50 g's fue del 66.6 % para el T2, del 58.3 % para el T4 y del 75% para el T7 (Fig. 3.2). En el T2 el 16.6% de los impactos estuvieron por encima de 100 g's y en el T4 el 4.16 %.

La naturaleza de los materiales contra los que golpeó el IS 100 G varió en función del punto de transferencia (Fig. 3.3 y 3.4). En las transferencias T1, T4, T5, T6, T7 y T8 el IS golpeó contra superficies amortiguadoras (materiales de recubrimiento y cintas transportadoras), con lo que se obtuvieron valores elevados para el cambio de velocidad, mientras que en las transferencias T2 y T3 golpeó contra superficies duras (base del alineador y entrada al calibrador de diabólos), presentando valores pequeños el cambio de velocidad.

### 4. Discusión

- El nivel de los impactos registrados por el fruto electrónico osciló notablemente de una transferencia a otra. Esta variación no sólo es debida a la variación de la altura de caída del punto de transferencia, sino que también hay que tener en cuenta el tipo de material contra el que impacta el fruto electrónico, la velocidad de los elementos de la línea y las características del diseño de cada transferencia (transferencia en ángulo, lineal, presencia de rampa de caída, etc.).

- En las condiciones de trabajo detalladas en la Tabla 1, el valor medio de los impactos registrados por la IS 100 G no superó 80 g's en ninguno de los ocho puntos de transferencia de la línea experimental. Los puntos de transferencia T2, T4 y T7 fueron los que registraron mayores niveles de impacto.

- La naturaleza de los materiales contra los que impactó la IS varió en función de las características de cada punto de transferencia, siendo las más críticas T2 y T3.

- La línea experimental de manipulación de fruta descrita servirá de base para analizar elementos mecánicos y condiciones de trabajo que reduzcan daños a la fruta durante su

manipulación. Se pretende generar resultados aplicables a líneas de manipulación de fruta comerciales.

- Los resultados obtenidos con los frutos electrónicos serán contrastados con muestras reales de fruta de pepita, de hueso, cítricos u otras.

## 5. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT: Proyecto ALI 97 - 0954) y a la Comunidad Autónoma de Madrid (Beca FPI) por la financiación de este proyecto.

## 6 - Referencias

Barreiro, P. 1994. Modelos para la simulación de daños mecánicos y desarrollo de un algoritmo de evaluación de maquinaria para los principales cultivos de albaricoque, manzana, melocotón y pera. Tesis doctoral.

Brown, G.K., Burton, C.L., Sargent, S.A., Schulte N.L., Timm, E.J.; Marshall D.E. 1987. Apple packing line damage assesment. ASAE paper 87-6515.

García, F., Riquelme, F., Ruiz-Altisent, M., Barreiro, P. 1996. Study of packing lines for stone fruits and citrus using two instrumented spheres in some cooperatives in the region of Murcia (Spain). AgEng Madrid 96. Paper 96F-038.

García J.L., Ruiz-Altisent, M., Barreiro, P., 1994. Factors influencing apple and pear physical properties and bruise susceptibility. AgEng Milano'94. Report 94-G-062.

Miller, W.M., Wagner, C. 1991. Florida citrus packing line studies with an instrumented sphere. Applied Engineering in Agriculture. 7(5): 577-581.

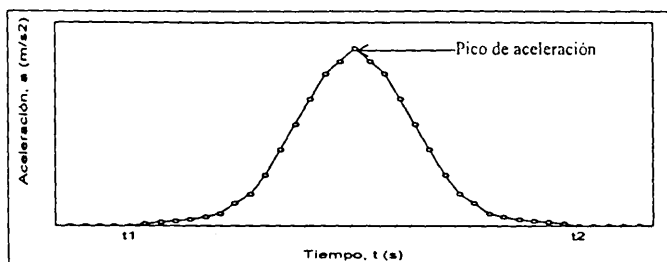
Pang, W., Studman, C., Banks, N.H. 1991. Use of an instrumented sphere for assessing apple bruising thresholds. Winter Meeting of ASAE. Chicago, Illinois. Paper 91 6596.

Zapp, H.R., Brown, G.K., Armstrong, P.R., Sober, S. 1989. Instrumented sphere performance: dynamic measurements and demonstration. ASAE paper 89-0008.

Zapp, H.R., Ehlert, S.H., Brown, G.K., Armstrong, P.R., Sober, S. 1990. Advanced instrumented sphere (IS) for impact measurements. Transactions of the ASAE. 33(3): 955-960.

Tabla 1. Alturas de los puntos de transferencia y velocidades de los elementos de la línea.

Puntos de transferencia	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Alturas de caída (cm)	13.5	21	6	24	8	9	15	14
Elementos de la línea experimental	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidad (m/min)	32.7	20	39	37.8	14.6	39	44.7	32.1

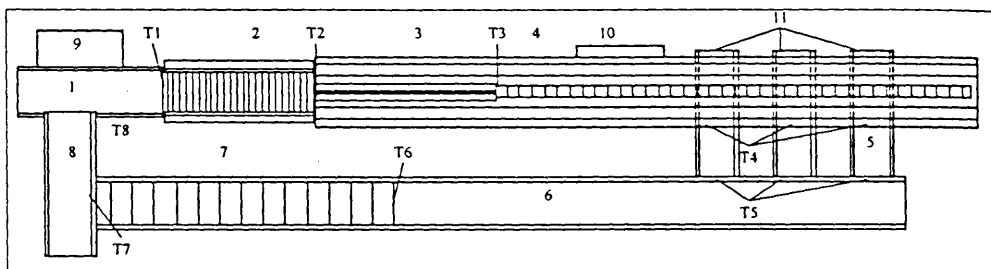


$$\Delta v = \int_{t_1}^{t_2} a \cdot dt \quad (m/s)$$

$\Delta v$  = cambio de velocidad  
 $a$  = aceleración ( $m/s^2$ )  
 $t$  = tiempo (s)

Fig. 1. Definición gráfica de pico de aceleración y cambio de velocidad para un impacto.

Fig. 2. Línea experimental de manipulación de fruta.



#### Elementos de la línea

- |                                  |                                 |                                   |                          |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. Cinta transportadora          | 2. Transportador de rodillos    | 3. Alineador                      | 4. Calibrador de diablos |
| 5. Cintas transportadoras salida | 6. Cinta transportadora         | 7. Elevador                       | 8. Cinta transportadora  |
| 9. Repisa para cajas de fruta    | 10. Cuadro de control eléctrico | 11. Bandejas de recogida de fruta |                          |

#### Puntos de transferencia

- |              |              |              |                     |
|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| T1. de 1 a 2 | T2. de 2 a 3 | T3. de 3 a 4 | T4. de 4 a 5 ó a 11 |
| T5. de 5 a 6 | T6. de 6 a 7 | T7. de 7 a 8 | T8. de 8 a 1        |

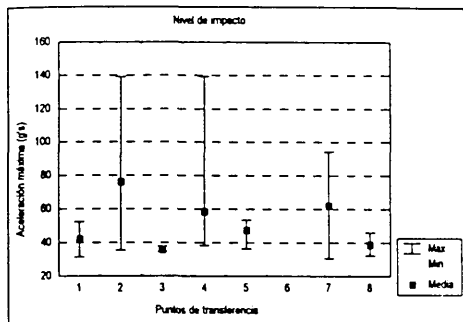


Fig. 3.1. Gráfico de niveles de impacto.

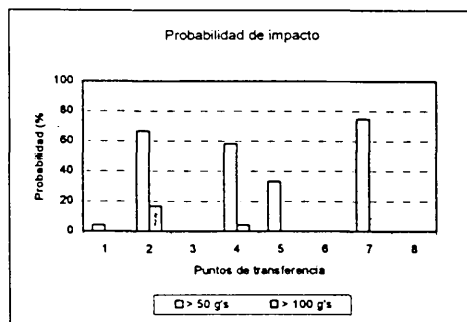


Fig. 3.2. Gráfico de probabilidad de impacto.

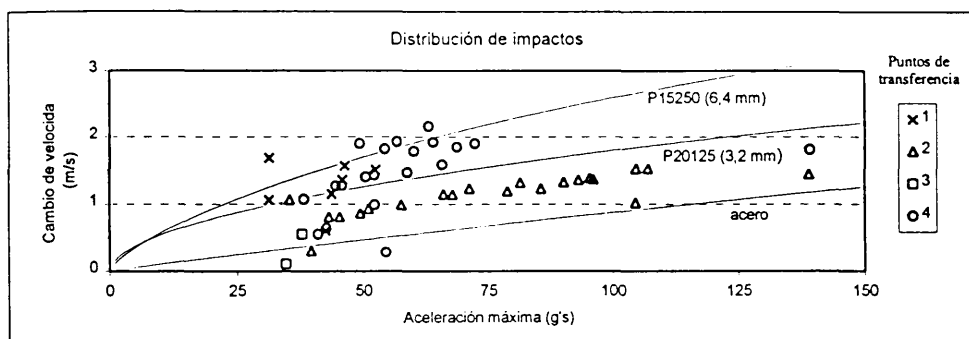


Fig. 3.3. Gráfico de distribución de impactos (transferencias 1, 2, 3 y 4).

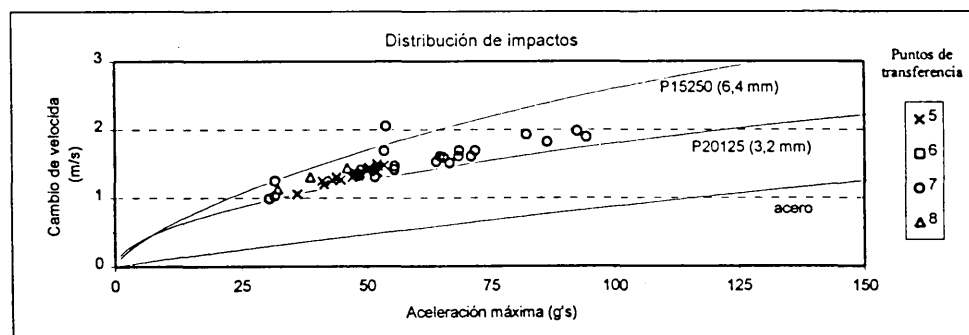


Fig. 3.4. Gráfico de distribución de impactos (transferencias 5, 6, 7 y 8).

Fig. 3. Resultados obtenidos con el fruto electrónico IS 100 G en la línea experimental